



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 224 253.6**  
(22) Anmeldetag: **03.12.2015**  
(43) Offenlegungstag: **08.06.2017**

(51) Int Cl.: **G01N 29/04** (2006.01)  
**G01N 29/44** (2006.01)  
**G01M 13/00** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, 15827  
Blankenfelde-Mahlow, DE**

(74) Vertreter:  
**Maikowski & Ninnemann Patentanwälte  
Partnerschaft mbB, 10707 Berlin, DE**

(72) Erfinder:  
**Ende, Sven von, Dr., 15366 Neuenhagen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	197 12 650	A1
DE	10 2013 110 900	A1
DE	600 16 939	T2
US	2005 / 0 087 016	A1
US	2009 / 0 019 937	A1
EP	2 428 650	A1

**BOND, L.J.; SAFFARI, N.: Crack  
Characterisation in Turbine Disks. In: Review  
of Progress in Quantitative Nondestructive  
Evaluation, Vol. 3A, 1984, S. 251-262.**

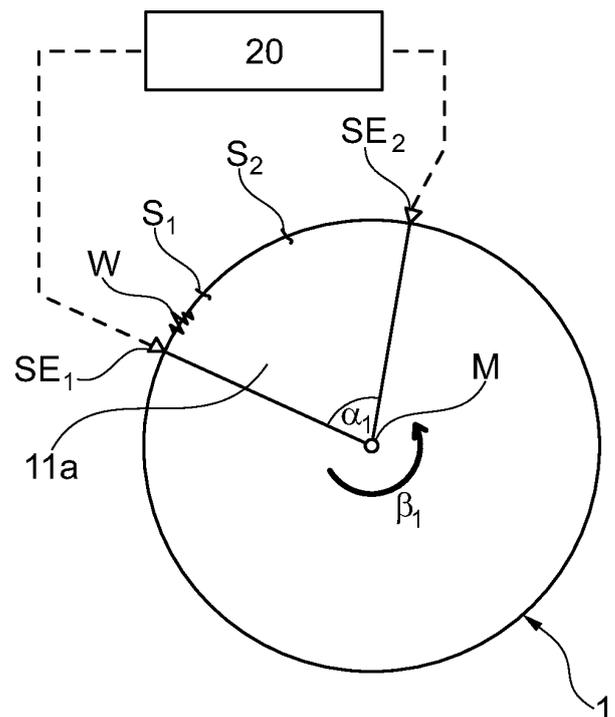
Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Triebwerksbauteils mit kreisförmigem oder kreisringförmigem Querschnitt**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft sowohl eine Vorrichtung als auch ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Triebwerksbauteils (1) mit kreisförmigem oder kreisringförmigem Querschnitt auf Defekte ( $S_1$ ,  $S_2$ ). Eine erfindungsgemäße Vorrichtung (2) weist dabei wenigstens das Folgende auf:

- mindestens einen Sender zur Anregung von oberflächengeführten elastischen Wellen (W),
- mindestens einen Empfänger zur Detektion von Wellen (W), die sich in zumindest einem Teil des zu prüfenden Triebwerksbauteils (1) ausgebreitet haben,
- eine Haltevorrichtung (22) zur Positionierung des mindestens einen Senders beabstandet zu einer äußeren Oberfläche des Triebwerksbauteils (1), wobei die Haltevorrichtung (22) eingerichtet ist, den mindestens einen Sender derart zu der äußeren Oberfläche des Triebwerksbauteils (1) zu beabstandet, dass mittels des Senders erzeugte Wellen in das zu prüfende Triebwerksbauteil (1) einkoppeln und oberflächengeführte elastische Wellen an der äußeren Oberfläche des zu prüfenden Triebwerksbauteils (1) anregen, und
- eine mit dem mindestens einen Empfänger gekoppelte elektronische Auswerteeinheit (20), die ein Auswertelogik aufweist, um mindestens eine Eigenschaft wenigstens einer durch den Empfänger detektierten Welle (W) auszuwerten und hierüber einen Defekt ( $S_1$ ,  $S_2$ ) innerhalb des Triebwerksbauteils (1) zu erkennen, der die mindestens eine Eigenschaft der detektierten Welle (W) beeinflusst.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft sowohl eine Vorrichtung als auch ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Triebwerksbauteils mit kreisförmigem oder kreisringförmigen Querschnitt auf mögliche Defekte.

**[0002]** Bei einem Großteil der innerhalb eines Triebwerks verwendeten Bauteile handelt es sich um im Betrieb des Triebwerks hochbelastete Bauteile, an die besonders hohe Anforderungen an Belastbarkeit und Lebensdauer gestellt werden. Um bereits während der Fertigung oder zu einem späteren Zeitpunkt nach einer vorgegebenen Betriebsdauer sicherzustellen, dass solche Triebwerksbauteile keine Schäden aufweisen, werden diese aufwendig geprüft. Hierbei wird nicht nur geprüft, ob das jeweilige Triebwerksbauteil bereits versagenskritische diskrete, mechanische Defekte, wie zum Beispiel Risse, aufweist, sondern gegebenenfalls auch ob in dem Material des Triebwerksbauteils eine Rissausbreitung begünstigende Defekte vorliegen. Bei der Prüfung bestimmter Triebwerksbauteile ist es dabei bisher üblich, diese einer nicht-zerstörungsfreien Prüfung zu unterziehen. Beispielsweise werden in der Praxis Triebwerkscheiben oder Dichtringe eines Triebwerks regelmäßig einer Schadenskontrolle unterzogen, bei der zunächst eine Beschichtung, die im Bereich von Dichtlippen angebracht ist, entfernt wird, um das darunterliegende Material auf etwaige Defekte zu prüfen.

**[0003]** Aus der WO 2014/067648 A1 ist ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Triebwerksbauteils bekannt, bei dem eine Randschichtcharakteristik des Triebwerksbauteils mittels Ultraschallwellen geprüft wird, um z.B. die Wirkung einer Oberflächenbehandlung zu überprüfen. Hierbei wird ein Referenzkörper mit einer bekannten Randschichtcharakteristik an der Oberfläche des Triebwerksbauteils angeordnet und es werden mittels eines Ultraschallsenders Ultraschallwellen in die Oberfläche des Triebwerksbauteils und des Referenzkörpers eingeleitet. Mittels eines Ultraschallempfängers wird anschließend wenigstens eine aus der Wechselwirkung mit dem Triebwerksbauteil und dem Referenzkörper resultierende Ultraschallwelle detektiert und mittels einer elektronischen Auswerteeinheit auf die Randschichtcharakteristik des zu prüfenden Triebwerksbauteils anhand eines Unterschieds zwischen der wenigstens einen erzeugten Ultraschallwelle und der wenigstens einen resultierenden Ultraschallwelle ermittelt.

**[0004]** Das aus der WO 2014/067648 A1 bekannte Verfahren, bei dem mittels eines Referenzkörpers eine zerstörungsfreie Prüfung erfolgt, ist jedoch bei größeren Triebwerksbauteilen mit kreisförmigem oder kreisringförmigen Querschnitt nur bedingt anwendbar, da nicht nur Sender und Empfänger, sondern

auch der Referenzkörper in unmittelbarem Kontakt mit der Oberfläche des zu prüfenden Triebwerksbauteils gebracht werden müssen. Dies ist aber bei Triebwerksbauteilen mit kreisförmigem oder kreisringförmigen Querschnitt und gegebenenfalls komplexer Dichtstruktur an der äußeren Oberfläche nur schwer möglich. Auch fokussiert sich die hierin beschriebene Lösung auf die Verwendung von Rayleigh-Wellen. Die nicht-dispersiven Rayleigh-Wellen erlauben unter Umständen keine zuverlässige Feststellung eines Defekts unterhalb einer auf die Oberfläche aufgetragenen Beschichtung.

**[0005]** Hiervon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur störungsfreien Prüfung eines Triebwerksbauteils mit kreisförmigem oder kreisringförmigen Querschnitt bereitzustellen, womit die aus dem Stand der Technik bekannten Nachteile vermieden werden können.

**[0006]** Diese Aufgabe wird sowohl mit der Vorrichtung des Anspruchs 1 als auch mit dem Verfahren des Anspruchs 17 gelöst.

**[0007]** Eine erfindungsgemäße (Prüf-)Vorrichtung umfasst hierbei wenigstens:

- mindestens einen Sender zur Anregung von oberflächengeführten Wellen,
- mindestens einen Empfänger zur Detektion von Wellen, die sich in zumindest einem Teil des zu prüfenden Triebwerksbauteils ausgebreitet haben,
- eine Haltevorrichtung zur Positionierung des mindestens einen Senders beabstandet zu einer äußeren Oberfläche des im Querschnitt kreisförmigen oder kreisringförmigen Triebwerksbauteils, wobei die Haltevorrichtung eingerichtet ist, den mindestens einen Sender derart zu der äußeren Oberfläche des Triebwerksbauteils zu beabstandeten, dass mittels des Senders erzeugte Wellen in das zu prüfende Triebwerksbauteil einkoppeln und oberflächengeführte Wellen an der äußeren Oberfläche des zu prüfenden Triebwerksbauteils anregen, und
- eine mit dem mindestens einen Empfänger gekoppelte elektronische Auswerteeinheit, die eine Auswertelogik aufweist, um mindestens eine Eigenschaft wenigstens einer durch den Empfänger detektierten Welle auszuwerten und hierüber einen Defekt innerhalb des Triebwerksbauteils zu erkennen, der die mindestens eine Eigenschaft der detektierten Welle beeinflusst

**[0008]** Eine erfindungsgemäße Vorrichtung ist somit zur zerstörungsfreien Prüfung eines im Querschnitt kreisförmigen oder kreisringförmigen Triebwerksbauteils eingerichtet und vorgesehen und weist unter anderem eine Haltevorrichtung auf, über die wenigstens ein Sender in einer räumlichen Lage zu dem

Triebwerksbauteils positionierbar ist, sodass – ohne direkten Kontakt des Senders mit der Oberfläche des Triebwerksbauteils – durch den Sender erzeugte Wellen in der Oberfläche des Triebwerksbauteils oberflächengeführte und z.B. elastische Wellen anregen. Treffen diese oberflächengeführten Wellen auf ihrem Weg in Richtung eines Empfängers auf einen Defekt, zum Beispiel in Form eines mechanischen Schadens, wie einen Riss, beeinflusst dies charakteristische Eigenschaften der Welle. Über eine Auswertung dieser Eigenschaften lässt sich dann auf das Vorhandensein eines Defekts und gegebenenfalls sogar auf dessen Ausmaße schließen und/oder der Defekt lokalisieren.

**[0009]** Beispielsweise kann die Auswertelogik der Auswerteeinheit eingerichtet sein, eine Amplitude, eine Phasenlage, vorkommende Moden, einen Dispersionsgrad und/oder eine Veränderung des Wellenspektrums bei der wenigstens einen detektierten Welle auszuwerten, um auf einen etwaigen Defekt zu schließen, den die detektierte Welle passiert hat oder an dem die detektierte -Welle zumindest teilweise reflektiert wurde. So kann der mindestens eine Empfänger eingerichtet und positionierbar sein, eine einen Defekt durchlaufene oder an einem Defekt reflektierte Welle zu detektieren.

**[0010]** Eine detektierte Welle geht bei Vorliegen eines Defekts auf eine Interaktion einer -Welle, die mittels des mindestens einen Senders erzeugt wurde, mit dem Defekt zurück. Dabei kann zumindest ein Teil einer angeregten Welle durch den Defekt hindurch laufen (Transmission) und/oder zumindest ein Teil der angeregten Welle reflektiert werden (Reflexion). Gegebenenfalls kann an dem Defekt auch eine Umwandlung in andere, bei der gegebenen Frequenz ausbreitungsfähige Wellenmoden auftreten (Modenkonzentrierung). Die durch die Interaktion mit dem Defekt beeinflusste Welle breitet sich dann von dem Defekt ausgehend aus, sodass sich eine detektierte (Gesamt-)Welle als Überlagerung verschiedener Wellenteile darstellt. Durch Auswertung der Eigenschaften dieser detektierten – Welle kann dann auf das Vorhandensein eines mechanischen Defekts geschlossen werden.

**[0011]** Das Verhalten der angeregten oberflächengeführten – Wellen im Bereich eines Defekts hängt insbesondere von der Ausprägung des Defekts ab. So variiert eine Transmission oder Reflexion z.B. insbesondere in Abhängigkeit von der Größe eines Schadens. Das Verhalten der -Wellen hängt dabei – gerade bei einer Anregung von oberflächengeführten elastischen Wellen in einer (bezogen auf die Wellenlänge der angeregten – Wellen) dünnwandigen Struktur des Triebwerksbauteils – ferner davon ab, ob eine symmetrisch, d.h., sich an einer Ober- und Unterseite der dünnwandigen Struktur identisch ausbreitende Welle oder eine asymmetrische (antisymmetrische)

Welle angeregt wird. Vor diesem Hintergrund lässt sich beispielsweise durch das Verhältnis der Amplituden von durch den mindestens einen Sender angeregter Welle und reflektierter oder transmittierter, detektierter Welle das Ausmaß eines Defekts charakterisieren.

**[0012]** Um zumindest einen Teil reflektierter Wellen zu detektieren, können der mindestens eine Sender und der mindestens eine Empfänger in unmittelbarer räumlicher Nähe zueinander angeordnet sein oder in einer Sender-/Empfängereinheit zusammengefasst sein. Über eine solche Sender-/Empfängereinheit können sowohl Wellen angeregt als auch detektiert werden. Dabei sind aus dem Stand der Technik auch solche Empfänger für – Wellen bekannt, die keinen unmittelbaren Kontakt zu einer Oberfläche eines Bauteils benötigen, in dem sich die – Wellen bis zu dem Empfänger ausgebreitet haben, sondern die lediglich in einem geringen Abstand zu dieser Oberfläche angeordnet werden müssen. Dies kann sich in einer Ausführungsvariante der erfindungsgemäßen Vorrichtung zunutze gemacht werden, um sowohl senderseitig als auch empfängerseitig keinen unmittelbaren Kontakt mit dem zu prüfenden Triebwerksbauteil herstellen zu müssen. Eine Detektion einer sich durch wenigstens einen Teil des Triebwerksbauteils ausgebreiteter Welle kann somit auch indirekt erfolgen und nicht nur direkt durch den unmittelbaren Empfang der Wellen an dem Empfänger. So regt beispielsweise eine oberflächengeführte Welle in unmittelbarer Nähe der Oberfläche durch einen Empfänger messbare Wellen an oder es erfolgt durch eine oberflächengeführte Welle eine durch einen Empfänger messbare Beeinflussung eines elektromagnetischen Feldes.

**[0013]** Zur Detektion in charakteristischer Weise veränderter, einen Defekt durchlaufender Wellen kann die Vorrichtung in einer Ausführungsvariante auch wenigstens einen Empfänger umfassen, der entlang des Umfangs des Triebwerksbauteils zu den wenigstens einen Sender räumlich beabstandet positionierbar ist.

**[0014]** Die Detektion eines Defekts kann nach dem Puls-Echo-Verfahren, dem Pitch-Catch-Verfahren oder dem Time-Reversal-Verfahren erfolgen.

**[0015]** Zur Erreichung einer größtmöglichen Flexibilität im Hinblick auf die Detektion reflektierter und/oder transmittierter Wellen ist in einer Ausführungsvariante vorgesehen, dass die (Prüf-)Vorrichtung wenigstens zwei Sender-/Empfängereinheiten umfasst, die entlang des Umfangs des zu prüfenden Triebwerksbauteils zueinander beabstandet positionierbar sind. Derart können sowohl an einem möglichen Defekt reflektierte Wellenanteile als auch einen Defekt durchlaufende Wellenanteile detektiert werden, wodurch mit größerer Genauigkeit Rückschlüsse auf

Lage, Art und/oder Ausmaß eines Defektes gezogen werden können. Hierfür werden Empfangssignale der mehreren Sender-/Empfängereinheiten einer gemeinsamen Auswerteeinheit zugeführt.

**[0016]** In einer Ausführungsvariante ist der mindestens eine Sender der Prüfvorrichtung eingerichtet, oberflächengeführte Wellen an der äußeren Oberfläche des zu prüfenden Triebwerksbauteils anzuregen, die sich zumindest teilweise unterhalb einer an der Oberfläche des zu prüfenden Triebwerksbauteils vorgesehenen Beschichtung ausbreiten, um einen unterhalb der Beschichtung vorliegenden Defekt des Triebwerksbauteils anhand wenigstens einer durch den Empfänger detektierter Welle zu erkennen. Es werden somit mittels der Prüfvorrichtung unterhalb einer Beschichtung liegende Defekte erkennbar, ohne hierfür die Beschichtung abtragen zu müssen. Beispielsweise kann insbesondere hierbei die Anregung elastischer oberflächengeführter Wellen mittels des Senders möglich sein.

**[0017]** Der mindestens eine Sender kann eingerichtet sein, Lamb-Wellen anzuregen, die sich in dem zu prüfenden Triebwerksbauteil ausbreiten. Dispersive Lamb-Wellen oder horizontale Scherwellen breiten sich auch in gekrümmten Strukturen und damit gerade in einem im Querschnitt kreisförmigen oder kreisringförmigen Triebwerksbauteil aus und erlauben damit auch bei solchen Strukturen eine sehr genaue Aussage über mögliche Defekte.

**[0018]** Zur berührungslosen Einkopplung von oberflächengeführten Wellen in die Oberfläche des Triebwerksbauteils kann der Sender eingerichtet sein, über Luftschall oder elektromagnetischen Ultraschall Wellen an der äußeren Oberfläche anzuregen. Hierfür kann der Sender in an sich bekannter Weise zum Beispiel eine piezoelektrische Folie aus porösem Polymermaterial, zum Beispiel aus geschäumtem Polypropylen (PP) oder porösen Polytetrafluorethylen (PTFE), umfassen. Für eine Anregung mittels elektromagnetischem Ultraschall kann senderseitig ein sogenannter EMUS-Wandler vorgesehen sein.

**[0019]** In einer Ausführungsvariante einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung ist eine dreiachsige Verstellbarkeit des Senders über die Haltevorrichtung vorgesehen, um den Sender – beispielsweise über eine Antriebseinrichtung fremdkraftbetätigt – positionsgenau an einem gewünschten Bereich des zu prüfenden Triebwerksbauteils positionieren zu können und für nachfolgende Prüfungen (gegebenenfalls automatisiert) verfahren zu können. Mit Blick auf die gegebenenfalls relativ komplexen Strukturen eines zu prüfenden Triebwerksbauteils, insbesondere im Bereich einer etwaigen Dichtungsstruktur, ist in einer Ausführungsvariante der mindestens eine Sender über die Haltevorrichtung sowohl entlang eines Umfangs um eine Mittelachse des zu prüfenden

Triebwerksbauteils und entlang einer radial zu dieser Mittelachse verlaufenden Raumrichtung verstellbar als auch in seiner Neigung bezüglich der radial verlaufenden Raumrichtung in einer parallel zur Mittelachse verlaufenden Ebene einstellbar. Ist der Sender oder eine diesen Sender aufweisende Sender-/Empfängereinheit über die Haltevorrichtung sowohl entlang des Umfangs und der radial verlaufenden Raumrichtung verstellbar und in der Neigung bezüglich der radial verlaufenden Raumrichtung einstellbar, kann der Sender über die Haltevorrichtung unterschiedliche Schwenk- und Linearverstellungen ausführen. So kann der Sender entlang einer (Kreis-)Bahn um die Mittelachse und linear bezüglich der radial verlaufenden Raumrichtung verstellbar sein sowie um eine senkrecht zur Mittelachse verlaufende Schwenkachse verschwenkbar sein. Dementsprechend bezieht sich eine etwaige axiale Verstellbarkeit auf eine Verstellung entlang einer Mittelachse, um die die Umfangslinie des zu prüfenden Triebwerksbauteils verläuft, während sich eine radiale Verstellung auf eine Verstellung radial bezüglich dieser Mittelachse bezieht.

**[0020]** In einem Ausführungsbeispiel ist die Vorrichtung zur sektorweisen Prüfung des Triebwerksbauteils eingerichtet. Hierfür können (a) der mindestens eine Sender und/oder der mindestens eine Empfänger entlang des Umfangs des zu prüfenden Triebwerksbauteils – mittels der Haltevorrichtung – verstellbar sein und/oder (b) das zu prüfende Triebwerksbauteil an der Vorrichtung drehbar gelagert sein. In einer möglichen Weiterbildung kann die Vorrichtung eine Antriebseinrichtung zur fremdkraftbetätigten, gegebenenfalls synchronen Verstellung des mindestens einen Senders und eines hierzu entlang des Umfangs beabstandeten Empfängers aufweisen. Dies schließt insbesondere eine synchrone Erstellung zweier Sender-/Empfängereinheiten oder einer Sender-/Empfängereinheit und eines Empfängers oder eines Senders und einer Sender-/Empfängereinheit ein, die entlang eines Umfangs zueinander beabstandet sind. Bei einer sektorweisen Prüfung wird somit bei einer Messung nicht das gesamte Triebwerksbauteil auf mögliche Defekte hin geprüft. Vielmehr werden über mindestens einen Sender und mindestens einen Empfänger aufeinanderfolgend einzelne Sektoren des Triebwerksbauteils geprüft. Beispielsweise werden hierbei entlang einer Umfangsrichtung der mindestens eine Sender und der mindestens eine Empfänger wiederholt verlagert, um sich in Umfangsrichtung aneinander anschließende Segmente des Triebwerksbauteils nacheinander auf mögliche Defekte hin zu prüfen.

**[0021]** Eine Verstellung des mindestens einen Senders und/oder des mindestens einen Empfängers und/oder eine Drehung des zu prüfenden Triebwerksbauteils kann hierbei mittels der Auswerteeinheit steuerbar sein. Eine solche Verstellung kann

dann beispielsweise in Abhängigkeit davon erfolgen, ob anhand der mindestens einen Eigenschaft der wenigstens einen durch den Empfänger detektierten Welle mehr als ein Defekt innerhalb eines aktuell geprüften Sektors des Triebwerksbauteils erkannt wurde. Die Auswerteeinheit ist hierbei folglich eingerichtet, zu erkennen, ob anhand der vorliegenden Messwerte mehr als ein Defekt innerhalb eines aktuell geprüften Sektors erkannt wurde, dessen umfangsseitigen Grenzen durch die entlang des Umfangs des Triebwerksbauteils zueinander beabstandeten Sender und Empfänger definiert sind. So kann beim Erkennen mehrerer Defekte unter Umständen anhand der ausgewerteten Welleneigenschaften nicht ohne Weiteres bestimmbar sein, an welcher Position ein detektierter Schaden vorliegt. Vor diesem Hintergrund kann vorgesehen sein, die Größe des zu prüfenden Sektors des Triebwerksbauteils zu verringern, um nur einen einzelnen Defekt innerhalb des zu prüfenden Sektors zu detektieren.

**[0022]** Hierbei kann die Auswerteeinheit eingerichtet sein, beim Erkennen mehr als eines Defekts innerhalb eines aktuell geprüften Sektors des Triebwerksbauteils einen Abstand zwischen dem mindestens einen Sender und einem entlang des Umfangs des Triebwerksbauteils zu dem Sender beabstandeten Empfänger automatisch um oder auf ein definiertes Maß zu verringern. Dabei wird die Größe des zu prüfenden Sektors maßgeblich durch den umfangsseitigen Abstand zwischen Sender und Empfänger, gegebenenfalls zweier Sender-/Empfängereinheiten, definiert, sodass zur Verringerung der Größe des zu prüfenden Sektors eine Antriebseinrichtung der Prüfvorrichtung zu einer entsprechenden Verstellung nur des Senders oder nur des Empfängers oder des Senders und des Empfängers (oder der entsprechenden Sender-/Empfängereinheiten) angesteuert wird.

**[0023]** Wie bereits einleitend erwähnt, ist eine erfindungsgemäße Prüfvorrichtung beispielsweise zur Prüfung einer Triebwerksscheibe oder eines Dichtringes eingerichtet und vorgesehen.

**[0024]** Die Haltevorrichtung kann eingerichtet und vorgesehen sein, den mindestens einen Sender an einer radial an der äußeren Oberfläche vorstehenden Dichtlippe des Triebwerksbauteils zu positionieren. In einer Ausführungsvariante ist eine solche Dichtlippe an einem axial vorstehenden Abschnitt des Triebwerksbauteils vorgesehen. Derartige Dichtlippen sind bei rotierenden Triebwerksscheiben üblich, um eine abdichtende Struktur mit einem Statorteil zu bilden. Regelmäßig wird über derartig radial vorstehende Dichtlippen eine Labyrinthdichtung gebildet. Gerade aber an solchen Dichtlippen ist mit der erfindungsgemäßen Lösung eine zerstörungsfreie Prüfung auf etwaige Defekte besonders einfach möglich.

**[0025]** Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist die Bereitstellung eines Verfahrens zur zerstörungsfreien Prüfung eines Triebwerksbauteils mit kreisförmigem oder kreisringförmigem Querschnitt.

**[0026]** Im Rahmen eines erfindungsgemäßen Verfahrens ist dabei wenigstens vorgesehen, dass

- mindestens ein Sender zur Anregung von oberflächengeführten Wellen bereitgestellt wird sowie mindestens ein Empfänger zur Detektion von Wellen, die sich in zumindest einem Teil des zu prüfenden Triebwerksbauteils ausgebreitet haben,
- der mindestens eine Sender derart beabstandet zu einer äußeren Oberfläche des Triebwerksbauteils positioniert wird, dass mittels des Senders erzeugte Wellen berührungslos in das zu prüfende Triebwerksbauteil einkoppeln und oberflächengeführte Wellen an der äußeren Oberfläche des zu prüfenden Triebwerksbauteils anregen, und
- eine Eigenschaft wenigstens einer durch den Empfänger detektierten Welle ausgewertet und hierüber ein Defekt innerhalb des Triebwerksbauteils erkannt wird, der die mindestens eine Eigenschaft der detektierten Welle beeinflusst.

**[0027]** Ein erfindungsgemäßes Prüfverfahren kann hierbei selbstverständlich mittels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung durchgeführt werden. Dementsprechend gelten vorstehend und nachstehend genannte Vorteile und Merkmale für Ausführungsvarianten einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung auch für Ausführungsvarianten eines erfindungsgemäßen Prüfverfahrens und umgekehrt.

**[0028]** So kann beispielsweise die Anregung von Lamb-Wellen vorgesehen sein und/oder die Prüfung auf unterhalb einer Beschichtung (eines Abschnitts) des Triebwerksbauteils vorliegende Defekte. Auch kann eine Amplitude, eine Phasenlage, vorkommende Moden, ein Dispersionsgrad und/oder eine Veränderung des Wellenspektrums bei der wenigstens einen detektierten Welle ausgewertet werden, um auf Lage, Ausmaß und/oder Art eines Defekts zu schließen.

**[0029]** Auch kann in einer Ausführungsvariante bei Erkennen mehr als eines Defekts innerhalb eines aktuell geprüften Sektors des Triebwerksbauteils ein Abstand zwischen dem mindestens einen Sender und einem entlang des Umfangs des Triebwerksbauteils zu dem Sender beabstandeten Empfänger automatisch um oder auf ein definiertes Maß verringert werden, um eine genauere Lokalisierung des einzelnen Defekts in einem Prüfsektor zu erhalten. Derart wird dann ein in seinen Abmessungen kleinerer Prüfsektor untersucht, um die Defekte genauer lokalisieren zu können. Gegebenenfalls wird diese Verkleinerung des Prüfsektors wiederholt, bis in einer nachfolgenden Messung und Auswertung detektier-

ter Wellen nur noch ein einzelner oder kein Defekt erkannt wird.

**[0030]** Beispielsweise kann der Abstand zwischen Sender und Empfänger bzw. den diese aufweisenden Sender-/Empfängereinheiten entlang des Umfangs (wiederholt) halbiert werden, bis in einer nachfolgenden Messung und Auswertung detektierter Wellen nur noch ein Defekt oder kein Defekt mehr erkannt wird. Der Abstand wird hierbei beispielsweise maximal bis auf einen definierten Mindestabstand verringert, der in der Auswerteeinheit hinterlegt ist.

**[0031]** Mögliche Ausführungsvarianten der erfindungsgemäßen Lösung sind ferner anhand der beigefügten Figuren veranschaulicht.

**[0032]** Hierbei zeigen:

**[0033]** Fig. 1 in perspektivischer Ansicht ein zu prüfendes Triebwerksbauteil in Form eines Dichtrings;

**[0034]** Fig. 2A schematisch eine Ausführungsvariante einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung mit zwei Sender-/Empfängereinheiten zur sektorweisen zerstörungsfreien Prüfung eines im Querschnitt kreisförmigen Triebwerksbauteils;

**[0035]** Fig. 2B ausschnittsweise die Prüfvorrichtung der Fig. 2A mit Veranschaulichung der Positionierung einer der Sender-/Empfängereinheiten an dem Triebwerksbauteil;

**[0036]** Fig. 3 eine Weiterbildung der Prüfvorrichtung der Fig. 2A und Fig. 2B bei einer sektorweisen Prüfung des Triebwerksbauteils und nach einer Verringerung der Größe des zu prüfenden Sektors;

**[0037]** Fig. 4 ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung einer Ausführungsvariante eines erfindungsgemäßen Prüfverfahrens;

**[0038]** Fig. 5 schematisch und in in Schnittdarstellung ein Gasturbinentriebwerk, für das das zu prüfende Triebwerksbauteil bestimmt ist.

**[0039]** In der Fig. 5 ist schematisch und in Schnittdarstellung ein (Gasturbinen-)Triebwerk T dargestellt dieses Triebwerk T erstreckt sich entlang einer Mittelachse M und weist in an sich bekannter Weise einen Lufteinlass auf, in den entlang einer Eintrittsrichtung R Luft in das Triebwerksinnere eingesaugt werden kann. Hierfür ist ein Fan F vorgesehen. Dieser Fan F führt Luft einerseits einem Verdichter V und andererseits einem Bypasskanal B für die Erzeugung des Schubs zu. Der Fan F ist drehfest mit einer Welle verbunden, die durch eine Turbine TT zu einer Drehung angetrieben wird. Die Turbine TT schließt sich hierbei an den Verdichter V an, der beispielsweise einen Niederdruckverdichter, einen Mitteldruckverdich-

ter und einen Hochdruckverdichter aufweist. Die über den Verdichter V geförderte Luft gelangt in einen Brennkammerabschnitt BK, in dem die Antriebsenergie zum Antreiben der Turbine TT erzeugt wird. Die Turbine TT, die hierfür beispielsweise eine Hochdruckturbine, eine Mitteldruckturbine und eine Niederdruckturbine aufweist, treibt dann über die bei der Verbrennung frei werdende Energie den Fan F an. Über eine Abgasdüse strömt das Abgas aus der Turbine TT am Ende des Triebwerks T nach außen aus.

**[0040]** Bei einem solchen Triebwerk T werden an unterschiedlichsten Stellen hochbelastete Triebwerksbauteile eingesetzt, die im Rahmen der Fertigung und insbesondere bei regelmäßigen Kontrollen auf etwaige Defekte hin untersucht werden müssen. Dies trifft beispielsweise auf den in der Fig. 1 perspektivisch dargestellten Dichtring 1 zu wie auch auf etwaige Triebwerksscheiben, die mit einer Triebwerkswelle drehfest verbunden sind und im Betrieb innerhalb des Triebwerks T mit hohen Drehzahlen rotieren. Ein solcher Dichtring oder eine solche Triebwerksscheibe 1 ist dabei regelmäßig geschmiedet und für höchste Belastungen ausgelegt. Dennoch kann es gerade an sensiblen und vergleichsweise schlank dimensionierten Strukturen dieser Triebwerksbauteile zu kritischen Schäden kommen, die frühzeitig erkannt werden müssen.

**[0041]** Beispielsweise weist der Dichtring 1 für die Ausbildung einer Labyrinthdichtung vergleichsweise dünnwandige Dichtlippen auf. Im Bereich derartiger (beschichteter oder unbeschichteter) Dichtlippen kommt es nicht selten zu diskreten, mechanischen Defekten, wie zum Beispiel Rissen. Diese müssen frühzeitig erkannt werden. Aufgrund der Formgebung und Struktur im Querschnitt kreisförmiger oder kreisringförmiger Triebwerksbauteile ist eine Prüfung auf etwaige Schäden in der Praxis bisher regelmäßig nicht zerstörungsfrei möglich. Beispielsweise wird zur Prüfung auf etwaige Schäden in einer Dichtlippenstruktur eines Triebwerksbauteils häufig eine aufgebrauchte Beschichtung abgetragen, dann eine Schadensprüfung durchgeführt und das Bauteil im Bereich der Dichtlippenstruktur wieder neu beschichtet. Dieses Vorgehen ist jedoch äußerst aufwendig und kostenintensiv.

**[0042]** Im Zuge der erfindungsgemäßen Lösung wird nun vorgeschlagen, eine Prüfvorrichtung zur zerstörungsfreien Prüfung mittels oberflächengeführter und hier elastischer Wellen bereitzustellen, bei der die Wellen berührungslos mittels wenigstens eines Senders in dem zu prüfenden Triebwerksbauteil angelegt werden. Dabei ist in dem mit den Fig. 2A und Fig. 2B veranschaulichten Ausführungsbeispiel eine Prüfvorrichtung 2 vorgesehen, bei der ein Sender Teil einer (ersten) Sender-/Empfängereinheit SE<sub>1</sub> ist, der beispielsweise mittels Luftschall oder elektromagnetischem Ultraschall oberflächengeführte elas-

tische Wellen  $W$  im Bereich einer Dichtlippenstruktur des Triebwerksbauteils **1** anregt. Das Triebwerksbauteil **1** ist hierbei durch einen Dichtring **1** entsprechend der **Fig. 1** oder eine Triebwerksscheibe gebildet. Die Dichtlippenstruktur wird hieran durch mehrere (vorliegend drei) radial vorstehende Dichtlippen  $D_1$  bis  $D_3$  definiert.

**[0043]** Die Prüfvorrichtung **2** weist vorliegend neben der ersten Sender-/Empfängereinheit  $SE_1$  eine weitere Sender-/Empfängereinheit  $SE_2$  auf. Über die Kombination zweier zueinander entlang des Umfangs des Triebwerksbauteils **1** beabstandeter Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  können Wellen detektiert und ausgewertet werden, die auf von dem Sender der ersten Sender-/Empfängereinheit  $SE_1$  erzeugte oberflächengeführte elastische Wellen zurückgehen und die einen etwaigen Defekt  $S_1$  oder  $S_2$  der Dichtlippenstruktur durchlaufen haben oder an einem Defekt  $S_1$ , oder  $S_2$  reflektiert wurden. Anhand der Auswertung eine Amplitude, einer Phasenlage, vorkommenden Moden, einem Dispersionsgrad und/oder einer Veränderung des Wellenspektrums bei den detektierten Wellen  $W$  lässt sich dabei auf Lage, Art und/oder Ausmaß eines Schadens  $S_1$  oder  $S_2$  schließen. Für eine derartige Auswertung weist die Prüfvorrichtung **2** eine elektronische Auswerteeinheit **20** mit einer entsprechenden Auswertelogik auf.

**[0044]** Wie insbesondere anhand der Draufsicht der **Fig. 2A** veranschaulicht ist, sind die beiden Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  entlang des Umfangs des Triebwerksbauteils **1** so zueinander positionierbar, dass über die beiden Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  ein einzelner Prüfsektor **11a** begrenzt wird und folglich zunächst lediglich in diesem Sektor das Triebwerksbauteil **1** auf das Vorliegen etwaiger Schäden  $S_1$  oder  $S_2$  hin geprüft wird. Um das Triebwerksbauteil **1** entlang seines gesamten Umfangs auf etwaige Schäden zu prüfen, können die beiden Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  entlang einer Umfangsrichtung  $\beta_1$  relativ zu dem Triebwerksbauteil **1** verstellt werden. Alternativ oder ergänzend kann das Triebwerksbauteil **1** um eine Mittelachse  $M$  drehbar sein, die im eingebauten Zustand des Triebwerksbauteils **1** der Mittelachse  $M$  des Triebwerks  $T$  entspricht.

**[0045]** Wie anhand der **Fig. 2B** veranschaulicht ist, ist über eine Haltevorrichtung **22** der Prüfvorrichtung **2** eine Sender-/Empfängereinheit  $SE_1$  (wie auch die andere Sender-/Empfängereinheit  $SE_2$ ) sowohl entlang der Umfangsrichtung  $\beta_1$  um die Mittelachse  $M$  verstellbar als auch radial bezüglich der Mittelachse  $M$  entlang einer Richtung  $r_1$ . Ferner ist über die Haltevorrichtung **22** eine Neigung  $\gamma_1$  der Sender-/Empfängereinheit  $SE_1$  bezüglich der Radialrichtung  $r_1$  einstellbar. Hierdurch können die jeweils radial spitz zulaufenden Dichtlippen  $D_1$  bis  $D_3$  des Triebwerksbauteils **1** gezielt auf etwaige Defekte zerstörungsfrei ge-

prüft werden und eine Sender-/Empfängereinheit  $SE_1$  (oder  $SE_2$ ) kann gezielt mit geringem Abstand zu der jeweiligen Dichtestruktur positioniert werden, so dass hierüber oberflächengeführte, elastische Wellen in der Dichtlippenstruktur der Dichtlippen  $D_1$  bis  $D_3$  angeregt werden können.

**[0046]** Exemplarisch ist in der Darstellung der **Fig. 2B** die erste Sender-/Empfängereinheit  $SE_1$  zur Anregung von elastischen Wellen an einer Dichtlippe  $D_2$  des Triebwerksbauteils **1** ausgerichtet. Die Dichtlippen  $D_1$  bis  $D_3$  sind hierbei an einem Abschnitt des Triebwerksbauteils **1** einstückig ausgeformt. Hierbei sind die einzelnen Dichtlippen  $D_1$  bis  $D_3$  an einem axial vorstehenden Ringselement **10** des Triebwerksbauteils **1** vorgesehen, an dem die einzelnen Dichtlippen  $D_1$  bis  $D_3$  – auf unterschiedlichen Seiten des Ringelements **10** und mithin radial nach innen oder radial nach außen – vorstehend ausgebildet sind. Die einzelnen Dichtlippen  $D_1$  bis  $D_3$  verzüngen sich dabei in die jeweilige radiale Erstreckungsrichtung.

**[0047]** Über die Haltevorrichtung **22** der Prüfvorrichtung **2** ist die Sender-/Empfängereinheit  $SE_1$  sowohl entlang der radial verlaufenden Richtung  $r_1$  als auch in ihrer Neigung relativ hierzu, die durch einen Winkel  $\gamma_1$  definiert ist, einstellbar, sodass die Sender-/Empfängereinheit  $SE_1$  in geringem Abstand zu der zu prüfenden Dichtlippenstruktur und in einem gewünschten Winkel – zum Beispiel senkrecht – zu einer Oberfläche des Triebwerksbauteils **1** und insbesondere der jeweiligen Dichtlippe  $D_1$  bis  $D_3$  positioniert werden kann. Ein Abstand zwischen der Sender-/Empfängereinheit  $SE_1$  und einer Dichtlippe  $D_2$ , an der elastische Wellen angeregt werden, ist in der **Fig. 2B** exemplarisch durch einen Spalt  $a$  veranschaulicht. Dieser Spalt  $a$  zwischen der Oberfläche der Dichtlippe  $D_2$  und der Sender-/Empfängereinheit  $SE_1$  ist hierbei so bemessen, dass mittels des Senders der Sender-/Empfängereinheit  $SE_1$  erzeugte Wellen in die Dichtlippe  $D_2$  einkoppeln können und oberflächengeführte elastische Wellen  $W$  anregen, deren an einem Schaden  $S_1$  oder  $S_2$  reflektierte Wellenanteile durch den Empfänger der Sender-/Empfängereinheit  $SE_1$  detektiert werden können. Über die an der Sender-/Empfängereinheit  $SE_1$  (und der anderen Sender-/Empfängereinheit  $SE_2$ ) detektierten Wellen  $W$  kann die mit beiden Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  gekoppelte elektronische Auswerteeinheit **20** auf das Vorliegen eines Schadens  $S_1$  oder  $S_2$  innerhalb des Prüfsektors **11a** zwischen den beiden Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  schließen sowie auch auf dessen Position und Ausmaß; beispielsweise nach dem bekannten Puls-Echo-Verfahren, dem Pitch-Catch-Verfahren und/oder dem Time-Reversal-Verfahren. Über die Anregung oberflächengeführter, elastischer Wellen, zum Beispiel in Form von Lamb-Wellen, werden hierbei auch Schäden  $S_1$ ,  $S_2$  zuverlässig detektiert, die sich unterhalb einer auf die Dichtlippen  $D_1$  bis  $D_3$  aufgetragenen Beschich-

tung befinden. Ein Abtragen der Beschichtung für die Schadensprüfung ist somit nicht notwendig.

**[0048]** Die mit den **Fig. 2A** bis **Fig. 2B** veranschaulichte sektorweise Prüfung auf etwaige Defekte hat den Vorteil, dass sukzessiv relativ kleine Segmente des Triebwerksbauteils **1** geprüft werden, wodurch die Auflösung einer Messung und die Messegenauigkeit genau eingestellt und gegenüber einer Messung über die gesamte Bauteiloberfläche erhöht ist. Wird in einem Prüfsektor **11a** kein Schaden  $S_1$  oder  $S_2$  festgestellt, wird das Triebwerksbauteil **1** um die Mittelachse **M** einen vorgegebenen Winkel  $\beta_1$  relativ zu den Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  gedreht, um einen weiteren Prüfsektor zu untersuchen. Es werden an einzelnen Prüfsektoren aufeinanderfolgende Messungen durchgeführt, bis das gesamte Triebwerksbauteil **1** geprüft wurde. Es sei darauf hingewiesen, dass alternativ oder ergänzend auch die Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  um die Mittelachse **M** verfahren und mithin gedreht werden können.

**[0049]** In einer Weiterbildung gemäß der **Fig. 3** ist vorgesehen, dass die Auswerteeinheit **20** der Prüfvorrichtung **2** eine Antriebseinrichtung **21** der Prüfvorrichtung **2** steuert, um nicht nur das Anfahren eines nachfolgenden Prüfsektors zu steuern, sondern auch bei Bedarf die Größe eines Prüfsektors **11a** zu variieren.

**[0050]** In dieser Ausführungsvariante ist vorgesehen, dass über die Auswerteeinheit **20** ein Abstand zwischen den beiden Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  entlang des Umfangs des Triebwerksbauteils **1** automatisch um oder auf ein definiertes Maß verringert wird, wenn innerhalb des aktuell geprüften Sektors **11a** mehr als ein Schaden  $S_1$ ,  $S_2$  detektiert wird. So ist zunächst ein Abstand zwischen den beiden Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  entlang des Umfangs des Triebwerksbauteils **1** vorgesehen, der durch einen Winkel  $\alpha_1$  definiert ist, der zwischen zwei Radien gebildet ist, die von der Mittelachse **M** ausgehend einerseits zu der ersten Sender-/Empfängereinheit  $SE_1$  und andererseits zu der zweiten Sender-/Empfängereinheit  $SE_2$  verlaufen. Bei der Detektion zweier Defekte  $S_1$  und  $S_2$  innerhalb des hierdurch gegebenen Prüfsektors **11a** wird vorliegend die zweite Sender-/Empfängereinheit  $SE_2$  der ersten Sender-/Empfängereinheit  $SE_1$  automatisch angenähert, sodass der zwischen den beiden Radien gebildete Winkel auf einen Winkel  $\alpha_2 < \alpha_1$  reduziert wird. Es ergibt sich mithin ein kleinerer Prüfsektor **11b**, in dem eine erneute Messung durchgeführt wird. Für die Verkleinerung des Prüfsektors kann auch eine Verstellung der ersten Sender-/Empfängereinheit  $SE_1$  vorgesehen und durch die Auswerteeinheit **20** gesteuert werden. In einer möglichen Variante wird der Abstand zwischen den beiden Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  bei der Detek-

tion mehr als eines Defekts innerhalb eines Prüfsektors halbiert. Es gilt dann mithin  $\alpha_2 = 1/2 \alpha_1$ .

**[0051]** Eine Verringerung des Abstands zwischen den beiden Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  kann hierbei auf einen Mindestabstand limitiert sein, um anhand der detektierten (reflektierten oder transmittierten) Oberflächenwellen noch ausreichend genau eine Aussage über das Vorliegen eines Defekts treffen zu können.

**[0052]** Über die Auswerteeinheit **20** kann mittels der Antriebseinrichtung **21** und die Haltevorrichtung **22** auch in Abhängigkeit von einem Messergebnis eine Ausrichtung der Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  automatisiert veränderbar sein. Dies kann beispielsweise der genaueren Lokalisierung eines etwaigen detektierten Defekts  $S_1$  und  $S_2$  dienen.

**[0053]** Mit der **Fig. 4** ist im Einzelnen der Ablauf eines erfindungsgemäßen Prüfverfahrens anhand eines Flussdiagramms veranschaulicht.

**[0054]** Das Prüfverfahren beginnt zunächst mit einem ersten Verfahrensschritt **A1**, bei dem das Triebwerksbauteil **1** in der Prüfvorrichtung **2** angeordnet und gegebenenfalls hieran drehbar gelagert wird. In einem nachfolgenden Verfahrensschritt **A2** werden die Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  bestimmungsgemäß relativ zueinander entlang des Umfangs des Triebwerksbauteils **1** und insbesondere entlang der radial verlaufenden Richtung  $r_1$  und unter Einstellung des Neigungswinkel  $\gamma_1$  relativ zu dem Triebwerksbauteil **1** positioniert. Anschließend beginnt mit einem Verfahrensschritt **A3** eine Messung und damit die Prüfung auf das Vorliegen möglicher Defekte  $S_1$  oder  $S_2$  entlang einer zwischen den beiden Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  definierten Prüfstrecke innerhalb des Prüfsektors **11a** durch die Anregung oberflächengeführter, elastischer Wellen mittels der ersten Sender-/Empfängereinheit  $SE_1$ .

**[0055]** Anhand der an den ersten und zweiten Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  detektierten Wellen wird dann in einem Verfahrensschritt **A4** mittels der Auswerteeinheit **20** anhand charakteristischer Welleneigenschaften, wie zum Beispiel der Amplituden, der Phasenlage, vorkommenden Moden, einem Dispersionsgrad und/oder einer Veränderung des Wellenspektrums, darauf geschlossen, ob ein mechanischer Defekt  $S_1$  oder  $S_2$  vorliegt oder nicht.

**[0056]** Wird mehr als ein Defekt  $S_1$  oder  $S_2$  erkannt, erfolgt eine Verkleinerung des Prüfsektors durch Verstellung einer oder beider Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$ . Dies ist im Flussdiagramm der **Fig. 4** anhand eines Verfahrensschritts **A5** veranschaulicht. Nach der Verstellung und der damit ein-

hergehenden Verringerung des umfangsseitigen Abstands zwischen den Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  erfolgt eine erneute Messung.

**[0057]** Wurde bei der vorhergehenden Messung (oder bei der erneuten Messung) lediglich ein einzelner Defekt  $S_1$  oder  $S_2$  innerhalb des aktuell gegebenen Prüfsektors **11a** (oder **11b**) detektiert und gegebenenfalls mittels der Auswerteeinheit **20** lokalisiert, erfolgt die Prüfung eines neuen Prüfsektors entlang der Umfangsrichtung  $\beta_1$ . Hierfür wird beispielsweise das Triebwerksbauteil **1** um die Mittelachse  $M$  gedreht. Alternativ oder ergänzend können die Sender-/Empfängereinheiten  $SE_1$  und  $SE_2$  relativ zu dem Triebwerksbauteil **1** entlang der Umfangsrichtung um die Mittelachse  $M$  verstellt werden, beispielsweise synchron oder aufeinander folgend. Innerhalb des Flussdiagramms der **Fig. 4** ist dieser Verfahrensschritt mit **A6** gekennzeichnet.

**[0058]** Wird in einem Verfahrensschritt **A7** dann festgestellt, dass das Triebwerksbauteil **1** vollständig sektorweise geprüft wurde, endet das Prüfverfahren (Ende **E**). Andernfalls erfolgt eine erneute Messung. Spätestens am Ende einer vollständigen Prüfung des gesamten Triebwerksbauteils **1** wird über die Prüfvorrichtung **2** ausgegeben, ob mechanische Defekte unterhalb einer Beschichtung der Dichtlippen  $D_1$  bis  $D_3$  detektiert wurden. Gegebenenfalls wird hierbei auch ausgegeben, an welcher Stelle entlang des Umfangs ein etwaiger Defekt  $S_1$  oder  $S_2$  detektiert wurde und welche Ausmaße dieser Defekt  $S_1$  oder  $S_2$  hat, beispielsweise in welcher Größenordnung er liegt („1 bis 5  $\mu\text{m}$ “, „5 bis 15  $\mu\text{m}$ “, „kleiner 1 mm“, „größer 1 mm“, etc.). In einer Ausführungsvariante wird ausgewertet und ausgegeben, ob und in welcher Tiefe ein Schaden  $S_1$  oder  $S_2$  erkannt wurde. Hierbei kann anhand der detektierten Wellen  $W$  mittels der Auswertelogik eine Kategorisierung vorgenommen werden, in welchem Tiefenbereich unterhalb der Oberfläche der jeweilige Schaden  $S_1$  oder  $S_2$  vorliegt. Beispielsweise wird eine Kategorisierung anhand folgender in der Auswerteeinheit **20** hinterlegter Bereiche (a) bis (d) vorgenommen: (a) Tiefe < 0.2mm, (b) Tiefe im Bereich 0.2–0.5mm, (c) Tiefe im Bereich 0.5–1mm, (d) Tiefe > 1mm.

$D_1, D_2, D_3$	Dichtlippe
$F$	Fan
$M$	Mittelachse
$R$	Eintrittsrichtung
$r_1$	Richtung
$S_1, S_2$	Defekt
$SE_1, SE_2$	Sender-/Empfängereinheit
$T$	Gasturbinentriebwerk
$TT$	Turbine
$V$	Verdichter
$W$	Oberflächenwelle
$\alpha_1, \alpha_2$	Winkel
$\beta_1$	Winkel / Umfangsrichtung
$\gamma_1$	Winkel / Neigungsrichtung

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Triebwerksbauteil
<b>10</b>	Ringelement
<b>11a, 11b</b>	Prüfsektor
<b>2</b>	Prüfvorrichtung
<b>20</b>	Auswerteeinheit
<b>21</b>	Antriebseinrichtung
<b>22</b>	Haltevorrichtung
<b>a</b>	Spalt
<b>A1–A7, E</b>	Verfahrensschritte
<b>B</b>	Bypasskanal
<b>BK</b>	Brennkammerabschnitt

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- WO 2014/067648 A1 [0003, 0004]

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur zerstörungsfreien Prüfung eines Triebwerksbauteils (1) mit kreisförmigem oder kreisringförmigem Querschnitt auf Defekte ( $S_1$ ,  $S_2$ ),

**dadurch gekennzeichnet**, dass

die Vorrichtung (2) wenigstens das Folgende aufweist:

- mindestens einen Sender zur Anregung von oberflächengeführten Wellen (W),
- mindestens einen Empfänger zur Detektion von Wellen (W), die sich in zumindest einem Teil des zu prüfenden Triebwerksbauteils (1) ausgebreitet haben,
- eine Haltevorrichtung (22) zur Positionierung des mindestens einen Senders beabstandet zu einer äußeren Oberfläche des Triebwerksbauteils (1), wobei die Haltevorrichtung (22) eingerichtet ist, den mindestens einen Sender derart zu der äußeren Oberfläche des Triebwerksbauteils (1) zu beabstanden, dass mittels des Senders erzeugte Wellen in das zu prüfende Triebwerksbauteil (1) einkoppeln und oberflächengeführte Wellen an der äußeren Oberfläche des zu prüfenden Triebwerksbauteils (1) anregen, und
- eine mit dem mindestens einen Empfänger gekoppelte elektronische Auswerteeinheit (20), die eine Auswertelogik aufweist, um mindestens eine Eigenschaft wenigstens einer durch den Empfänger detektierten Welle (W) auszuwerten und hierüber einen Defekt ( $S_1$ ,  $S_2$ ) innerhalb des Triebwerksbauteils (1) zu erkennen, der die mindestens eine Eigenschaft der detektierten Welle (W) beeinflusst.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Sender eingerichtet ist, oberflächengeführte Wellen an der äußeren Oberfläche des zu prüfenden Triebwerksbauteils (1) anzuregen, die sich zumindest teilweise unterhalb einer an der Oberfläche des zu prüfenden Triebwerksbauteils (1) vorgesehenen Beschichtung ausbreiten, um einen unterhalb der Beschichtung vorliegenden Defekt ( $S_1$ ,  $S_2$ ) des Triebwerksbauteils (1) anhand wenigstens einer durch den Empfänger detektierten Welle (W) zu erkennen.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Sender eingerichtet ist, sich in dem zu prüfenden Triebwerksbauteil (1) ausbreitende Lamb-Wellen anzuregen.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Sender eingerichtet ist, über Luftschall oder elektromagnetischen Ultraschall Wellen an der äußeren Oberfläche des zu prüfenden Triebwerksbauteils (1) anzuregen.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Sender eine piezoelektrische Folie aus porösem Polymermaterial

umfasst, um an der äußeren Oberfläche des zu prüfenden Triebwerksbauteils (1) Wellen über Luftschall anzuregen.

6. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Sender einen EMUS-Wandler umfasst, um an der äußeren Oberfläche des zu prüfenden Triebwerksbauteils (1) Wellen über elektromagnetischen Ultraschall anzuregen.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswertelogik der Auswerteeinheit (20) eingerichtet ist, eine Amplitude, eine Phasenlage, vorkommende Moden, einen Dispersionsgrad und/oder eine Veränderung des Wellenspektrums bei der wenigstens einen detektierten Welle (W) auszuwerten.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Empfänger eingerichtet und positionierbar ist, eine an einem Defekt ( $S_1$ ,  $S_2$ ) zumindest teilweise transmittierte oder reflektierte Welle (W) zu detektieren.

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (2) mindestens eine Sender-/Empfängereinheit ( $SE_1$ ,  $SE_2$ ) umfasst, über die sowohl Wellen (W) angeregt als auch detektiert werden können.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (2) wenigstens zwei Sender-/Empfängereinheiten ( $SE_1$ ,  $SE_2$ ) umfasst, die entlang des Umfangs des zu prüfenden Triebwerksbauteils (1) zueinander beabstandet positionierbar sind.

11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Sender über die Haltevorrichtung (22) sowohl entlang eines Umfangs um eine Mittelachse (M) des zu prüfenden Triebwerksbauteils (1) und entlang einer radial zu dieser Mittelachse (M) verlaufenden Raumrichtung ( $r_1$ ) verstellbar ist als auch in seiner Neigung ( $\gamma_1$ ) bezüglich dieser radial verlaufenden Raumrichtung ( $r_1$ ) in einer parallel zur Mittelachse (M) verlaufenden Ebene einstellbar ist.

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (2) zur sektorweisen Prüfung des Triebwerksbauteils (1) eingerichtet ist und hierfür (a) der mindestens eine Sender und/oder der mindestens eine Empfänger entlang des Umfangs des zu prüfenden Triebwerksbauteils (1) verstellbar sind und/oder (b) das zu prüfende Triebwerksbauteil (1) an der Vorrichtung (2) drehbar gelagert ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Verstellung des mindestens einen Senders und/oder des mindestens einen Empfängers und/oder eine Drehung des zu prüfenden Triebwerksbauteils (1) mittels der Auswerteeinheit (22) steuerbar ist und zwar in Abhängigkeit davon, ob anhand der mindestens einen Eigenschaft der wenigstens einen durch den Empfänger detektierten Welle (W) mehr als ein Defekt ( $S_1$ ,  $S_2$ ) innerhalb eines aktuell geprüften Sektors des Triebwerksbauteils (1) erkannt wurde.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (20) eingerichtet ist, bei Erkennung mehr als eines Defekts ( $S_1$ ,  $S_2$ ) innerhalb eines aktuell geprüften Sektors des Triebwerksbauteils (1) einen Abstand zwischen dem mindestens einen Sender und einem entlang des Umfangs des Triebwerksbauteils (1) zu dem Sender beabstandeten Empfänger automatisch um oder auf ein definiertes Maß zu verringern.

15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (2) zur zerstörungsfreien Prüfung einer Triebwerksscheibe oder eines Dichtrings (1) eingerichtet und vorgesehen ist.

16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Haltevorrichtung (22) eingerichtet und vorgesehen ist, den mindestens einen Sender an einer radial an der äußeren Oberfläche vorstehenden Dichtlippe ( $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ) des Triebwerksbauteils (1) zu positionieren, insbesondere an einer Dichtlippe ( $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ), die an einem axial vorstehenden Abschnitt (10) des Triebwerksbauteils (1) vorgesehen ist.

17. Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Triebwerksbauteils (1) mit kreisförmigem oder kreisringförmigem Querschnitt auf Defekte ( $S_1$ ,  $S_2$ ), **dadurch gekennzeichnet**, dass

- mindestens ein Sender zur Anregung von oberflächengeführten Wellen (W) bereitgestellt wird sowie mindestens ein Empfänger zur Detektion von Wellen (W), die sich in zumindest einem Teil des zu prüfenden Triebwerksbauteils (1) ausgebreitet haben,
- der mindestens eine Sender derart beabstandet zu einer äußeren Oberfläche des Triebwerksbauteils (1) positioniert wird, dass mittels des Senders erzeugte Wellen berührungslos in das zu prüfende Triebwerksbauteil (1) einkoppeln und oberflächengeführte Wellen an der äußeren Oberfläche des zu prüfenden Triebwerksbauteils (1) anregen, und
- eine Eigenschaft wenigstens einer durch den Empfänger detektierten Welle (W) ausgewertet und hierüber ein Defekt ( $S_1$ ,  $S_2$ ) innerhalb des Triebwerksbauteils (1) erkannt wird, der die mindestens eine Eigenschaft der detektierten Welle (W) beeinflusst.

18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren mittels einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16 durchgeführt wird.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

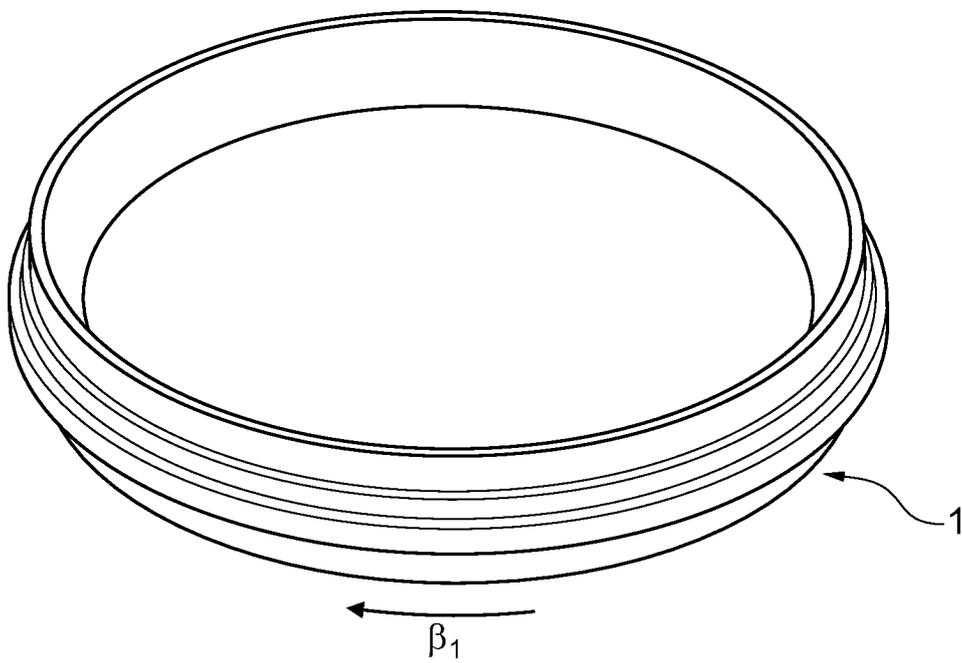


Fig. 1

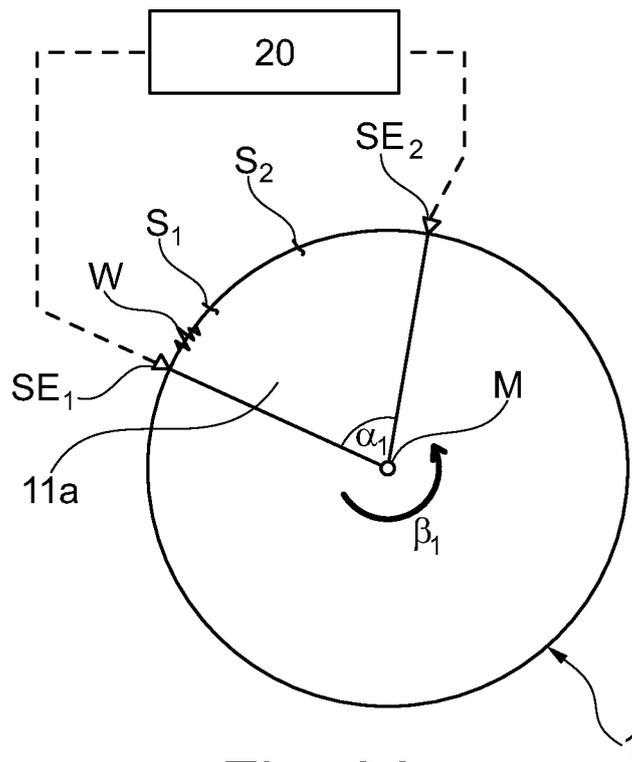


Fig. 2A

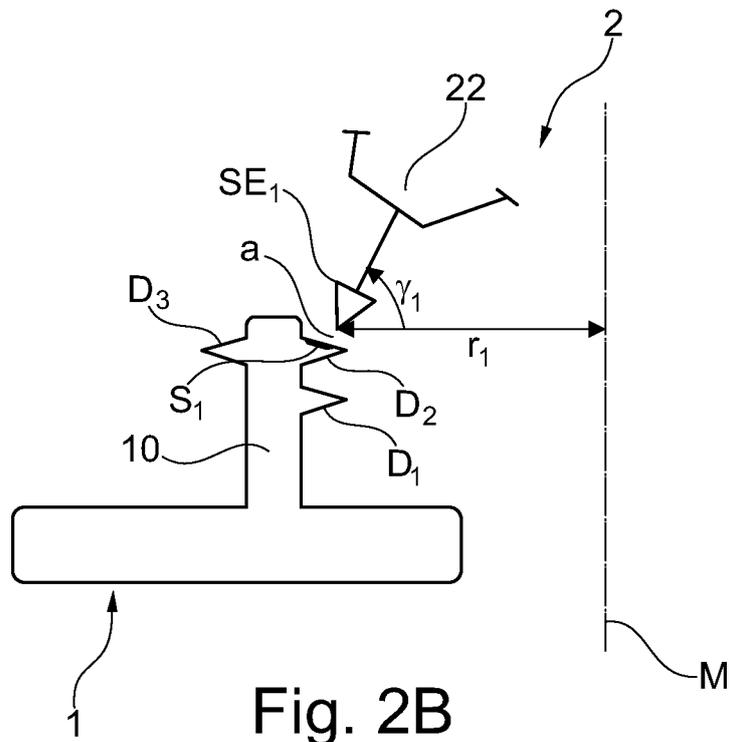


Fig. 2B

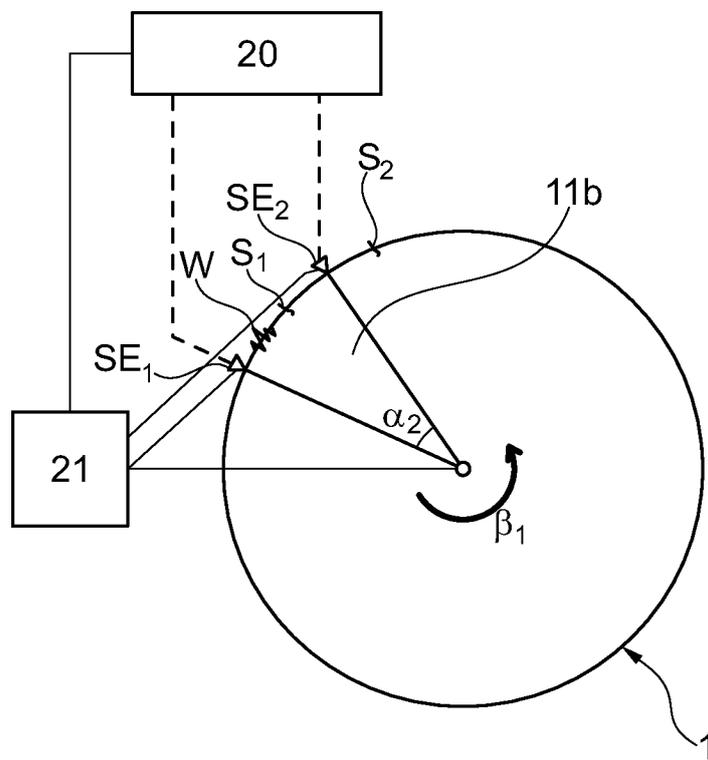


Fig. 3

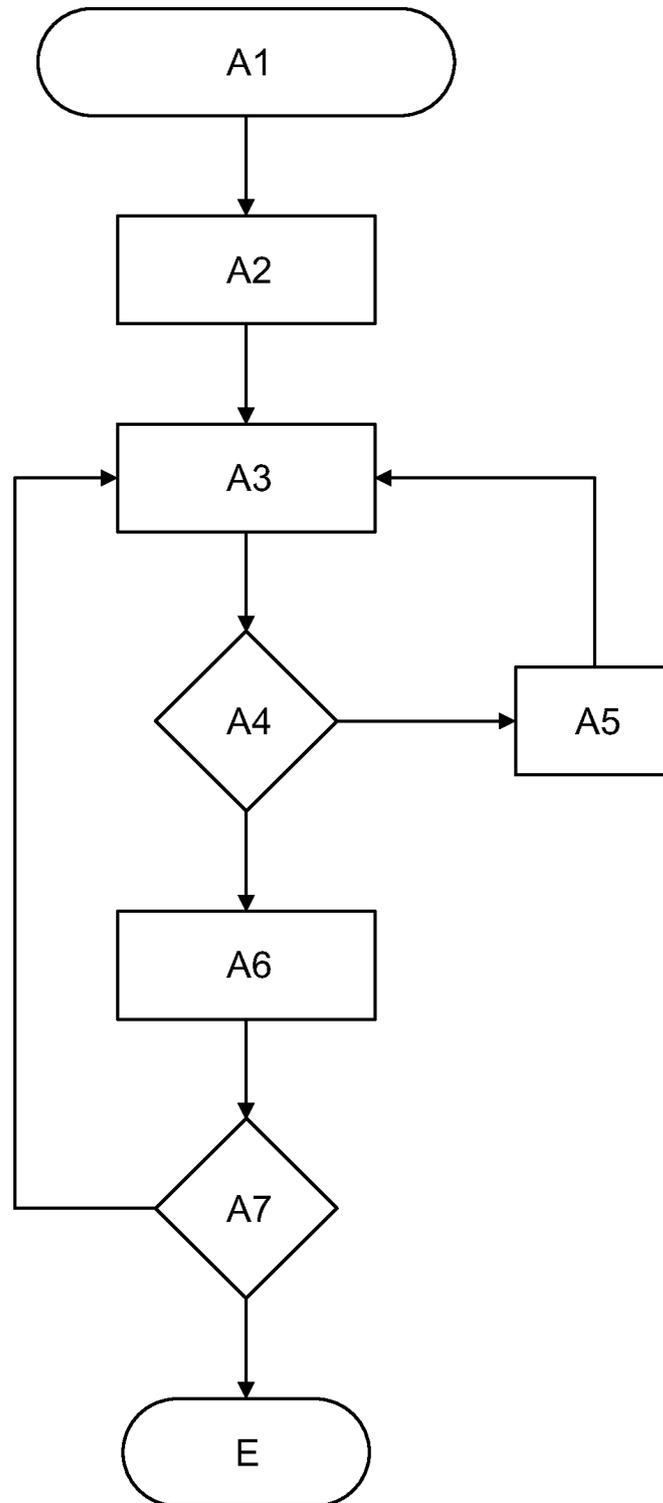


Fig. 4

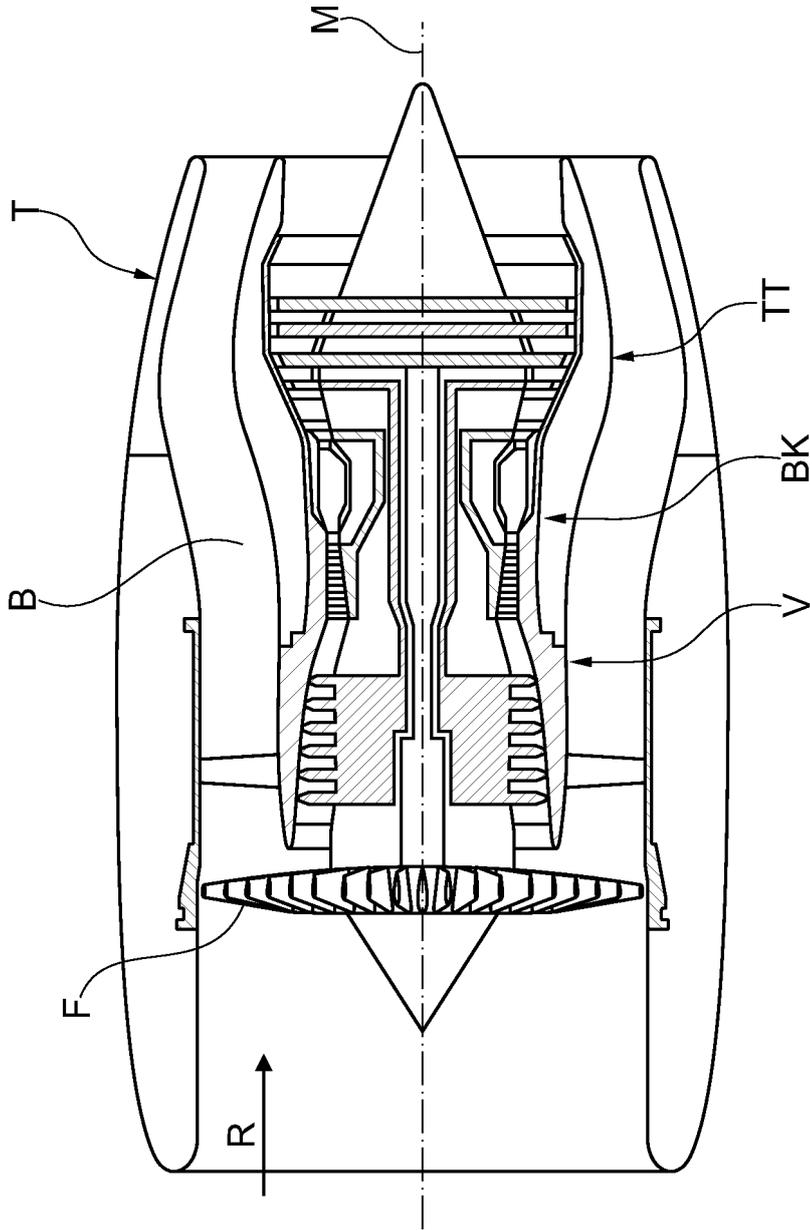


Fig. 5